Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 1, Spring 2023, p. 121-133

Evaluation of the Effect of Day and Night Temperature Fluctuations in different Seasons of the Year on the Fruit Formation of Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.) Lines

Z. Roudbari[1]*, J. Sarhadi[2], M. Azadvar[3], S.M. Alavi-Siney[4]– A. Jalali[5]

Received: 11-11-2021 Revised: 22-12-2021 Accepted: 27-12-2021 Available Online: 27-12-2021	**How to cite this article:** Roudbari, Z., Sarhadi, J., Azadvar, M., Alavi-Siney, S.M., & Jalali, A. (2023). Evaluation of the effect of day and night temperature fluctuations in different seasons of the year on the fruit formation of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) Lines. *Journal of Horticultural Science 37*(1): 121-133. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/jhs.2021.73572.1107

Introduction

Capsicum is a plant sensitive to temperature fluctuations at day and night, and temperature changes strongly affect the quality of the fruit. Identification of tolerant genotypes to temperature fluctuations that naturally produce parthenocarp and marketable fruit is important for use in breeding programs and the production of hybrids with appropriate fruit weight and size and high marketability.

Materials and Methods

In order to evaluate the reaction of the lines related to three populations of sweet pepper (A: red fruit, B: orange fruit and C: yellow fruit) obtained from five generations of self-polination (by generation management by single-seed bulk method), a greenhouse factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with three different temperature conditions including optimal day and night temperature (day temperature 25± 2 and night temperature 20 ± 2 °C), low night temperature (day temperature 25± 2 and night temperature 11± 2 °C) and high day temperature (day temperature 40± 2 and night temperature 20 ± 2 °C). For this purpose, 100 lines from each population were planted in three separate greenhouses with the mentioned temperatures. Percentage of seedless fruit lines per population or Parthenocarp fruits (including seedless fruits that had at least 50% by weight of seeded and natural fruits and other seedless fruits that were deformed and small in size (knot) were removed), height Plant, day to ripening and number of fruit lobes per 100 lines of each population were measured in three different temperature conditions. Due to the fact that the lines within each population were different from the other population lines, so the data analysis was performed as a complex sequential-factorial design. Also, due to the importance of fruit characteristics in seedless fruit lines and seeded fruits, analysis of variance of these lines in a completely randomized design (15 treatments in 3 replications) using SAS v software 9.2 was performed and the comparison of the mean of the evaluated traits was performed using Duncan's multiple range test at 5% probability level.

1 and 4- Assistant Professors of Plant Breeding, Department of Crop and Horticultural Science Research, Southern Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Jiroft, Iran
(*- Corresponding Author Email: z.roudbari@areeo.ac.ir)
2- Assistant Professor of Soil and Water Research Department, Southern Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Iran
3- Assistant Professor Plant Protection Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Iran
5- Expet of Crop and Horticultural Science Research Department, Southern Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Iran
DOI: 10.22067/jhs.2021.73572.1107

Results and Discussion

The results showed that under optimal temperature conditions, all lines had good growth and no parthenocarpic plants were observed in the evaluated populations, but day and night temperature fluctuations outside the optimal temperature range caused significant changes in plant growth, fruit development. And seeds were formed. The effect of high day temperature on the evaluated characteristics was less than low night temperature. With a sharp drop in night temperature, population A produced the highest percentage of seedless fruit plants. The percentage of parthenocarp lines of populations B and C were significantly lower than population A at low night and daytime temperatures. Population C was less affected by adverse day and night temperatures than the other two populations. Fruit size, fruit weight and fruit shape index, which are the most important determinants of fruit marketing, were strongly affected by day and night temperature fluctuations. In all three populations evaluated, fruit length was significantly negatively affected by low night temperature more than high day temperature, which resulted in distortion of fruit shape index. Fruit shape index, which is the result of the ratio of length to diameter of fruit, in marketable fruits is 1-1.02. As the fruit length increases and the fruit diameter remains constant or decreases, the shape index increases from 1.02, and as the fruit diameter increases with decreasing fruit length, which is usually achieved under cold stress conditions, this number decreases below one. Based on the results, the three populations evaluated had different fruit lengths under optimal temperature conditions, which, with the proportion of fruit diameter to length, the fruit shape index was normal and produced marketable fruits. By decreasing the night temperature below the optimum growth temperature, fruit length decreased sharply in the three evaluated populations, and this decrease was greater in seedless fruits. According to Table 2, the highest percentage of fruit length reduction at low night temperature was observed in population A and in seedless fruits. In this temperature condition, fruit length decreased by 43% in seedless fruits and 17.5% in seeded fruits. The lowest decrease in fruit length at low night temperature was related to population C. Fruit length in seeded and non-seeded fruits of this population decreased by 12 and 24%, respectively. However, the percentage of fruit reduction in the total populations evaluated was 13.90 and 33.69% on average in seeded and seedless fruits, respectively. Although the length of the fruit was less affected by the high temperature during the day than the low temperature at night, but the trend of fruit length changes in these temperature conditions was similar to the low temperature at night. The average decrease in fruit length in the total population in seeded and seedless fruits was 10.41 and 31.52%, respectively, with population C having the least and population A having the most effect from unfavorable daytime temperature. Fruit weight was also affected by the unfavorable temperature of day and night, but the negative effect of low night temperature on fruit weight was more than the unfavorable temperature of the day. According to the results, the percentage of fruit weight loss in seeded and seedless fruits at low temperature at night was 21.19 and 50.06%, respectively, and at high temperature at day, 15.98 and 50.12%. As the results show, seedless fruits had the same effect of unfavorable temperature day and night and showed the highest percentage of weight loss. Also, fruit weight in population C showed the least effect of adverse temperature day and night and no significant difference was observed between populations B and A. Expression is associated with undesirable traits that can be due to the coherence of traits or pleiotropic effects of parthenocarpic genes or physiological or molecular changes. Although in population C the number of lines with Parthenocarp fruit was 1%, but Parthenocarp fruits consisting of size and shape index are more suitable than the other two populations. The C population also showed a low percentage of Knot fruits as well as slight differences in fruit weight and shape at low temperature at night and high temperature at day. Based on the results, the three populations evaluated have different potentials in terms of reacting to adverse low temperatures at night and high temperatures during the day, and this potential can be used in future research and breeding programs to produce hybrids that tolerate temperature fluctuations.

Keywords: Seedless fruit, Sweet pepper, Unfavorable growing temperature

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص. ۱۳۳-۱۲۱

ارزیابی اثر نوسانات دمایی شب و روز در فصول مختلف سال بر تشکیل میوه لاین‌های فلفل شیرین (*Capsicum annuum* L.)

زهرا رودباری[1]*- جواد سرحدی[2]- مهدی آزادوار[3]- سیدمحمد علوی سینی[4]- امیر جلالی[5]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۶

چکیده

به منظور ارزیابی واکنش لاین‌های مربوط به سه جمعیت فلفل شیرین تحت عنوان جمعیت A، B و C، به ترتیب در سه رنگ میوه قرمز، نارنجی و زرد، به سه شرایط دمایی مختلف شامل دمای بهینه روز و شب (به ترتیب ۲±۲۵ و ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد)، دمای پایین شب (دمای روز ۲±۲۵ و دمای شب ۲±۱۱ درجه سانتی‌گراد) و دمای روز بالا (دمای روز ۲±۴۰ و دمای شب ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد) در فصول مختلف سال، آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (ترتیبی- فاکتوریل) در سه گلخانه مجزا با دماهای ذکرشده در جنوب استان کرمان طی سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۹۸ به مرحله اجرا درآمد. برای هر جمعیت ۱۰۰ لاین مورد کشت قرار گرفت و درصد لاین های بدون میوه، درصد لاین های با میوه بدون بذر، درصد لاین-های با میوه بدفرم، وزن میوه، طول و قطر میوه، شاخص شکل میوه (نسبت طول به عرض میوه) و ارتفاع بوته در هر جمعیت مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد در شرایط دمای بهینه، تمام لاین ها از رشد مطلوبی برخوردار بودند و هیچ بوته‌ی پارتنوکارپی در جمعیت‌های مورد ارزیابی مشاهده نشد. اما نوسانات دمایی شب و روز خارج از دامنه دمای بهینه، سبب تغییرات چشمگیری در رشد بوته، توسعه میوه و تشکیل بذر گردید. تأثیر منفی دمای بالای روز بر ویژگی‌های مورد ارزیابی کمتر از دمای پایین شب بود. با کاهش شدید دمای شب، جمعیت A بیشترین درصد بوته‌های با میوه بدون بذر را تولید کرد. درصد لاین‌های پارتنوکارپ جمعیت B و C نسبت به جمعیت A در دمای پایین شب و بالای روز به‌طور قابل‌توجهی کمتر بود. بیشترین درصد میوه‌های بدفرم در دمای نامطلوب بالای روز و پایین شب به ترتیب به میزان ۱۰ و ۱۲ درصد مربوط به جمعیت A بود. این درصد در جمعیت C نسبت به جمعیت A (در دمای نامطلوب بالا روز و پایین شب به ترتیب ۳ و ۴ درصد) به‌طورقابل توجهی کمتر بود که احتمالاً به دلیل تحمل بیشتر این جمعیت به نوسانات دمایی است. همچنین درصد لاین‌های پارتنوکارپ جمعیت A (۶ و ۴ درصد به ترتیب دمای نامطلوب بالا روز و پایین شب) نسبت به دو جمعیت B و C بیشتر بود. با این وجود جمعیت C در شرایط نامطلوب دمایی، میوه‌هایی با شاخص شکل مطلوب‌تر تولید کرد که می‌تواند نشانه تحمل بیشتر این جمعیت به نوسانات دمایی باشد. لاین‌های متحمل به تغییرات دمایی شناسایی‌شده در این پژوهش را می‌توان برای تحقیقات آینده جهت استفاده در برنامه‌های اصلاحی و تولید بذر هیبرید مورد استفاده قرار داد.

واژه‌های کلیدی: دمای نامطلوب رشد، فلفل شیرین، میوه بدون بذر

۱ و ۴- استادیاران بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: z.roudbari@areeo.ac.ir)
۲- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
۳- استادیار بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
۵- کارشناس بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران

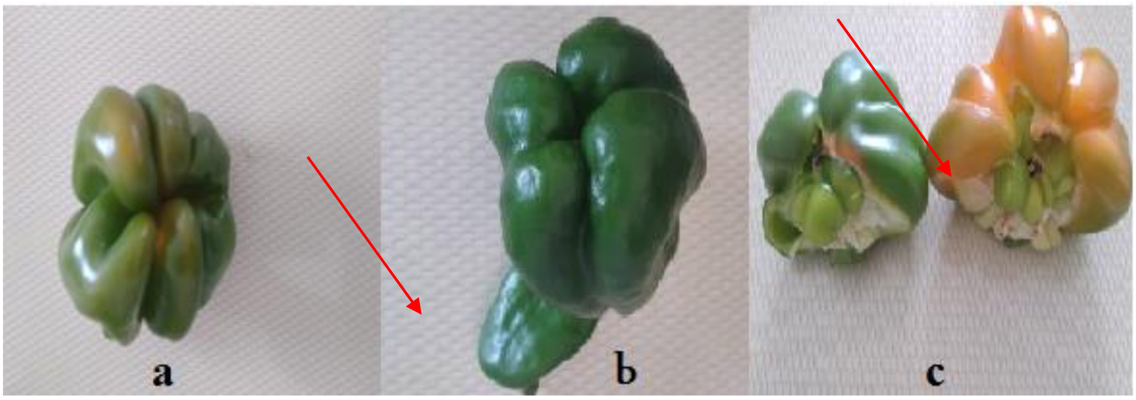
DOI: 10.22067/jhs.2021.73572.1107

مقدمه

فلفل شیرین (.Capsicum annuum L) از خانواده Solanaceae بوده و در سراسر جهان بخصوص در کشورهای گرمسیری و نیمه گرمسیری پرورش می‌یابد. جنس *Capsicum* بیش از ۳۰ گونه وحشی و اهلی را در بردارد که ازنظر ساختار گل، میوه و تعداد کروموزوم‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. پنج گونه *Capsicum annuum* L.، *Capsicum chinense* Jacq، *Capsicum frutescens* L.، *Capsicum baccatum* L. و *Capsicum pubescens* بیشترین سطح زیر کشت در دنیا را به خود اختصاص داده اند (Barboza *et al*., 2005). اولین بار این گیاه در مناطق معتدل جنوب آمریکا اهلی‌شده است (Perry *et al*., 2007). فلفل ازجمله اولین گیاهانی است که ۱۰ تا ۱۲ هزار سال قبل در نیمکره غربی زمین اهلی‌شده است. میوه فلفل منبع بسیار خوبی از ترکیبات مرتبط با سلامتی مانند اسید اسکوربیک (ویتامین C)، کاروتنوئیدها (پروویتامین A)، توکوفرول‌ها (ویتامین E)، فلاونوئیدها و کپسایسینوئیدها است (Wahyuni, 2014).

میوه سبزیجات خانواده سولاناسه، نظیر گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)، بادمجان (*Solanum melongena* L.) و فلفل (*Capsicum annuum* L.) عمدتاً بعد از گرده‌افشانی گل تشکیل‌شده و رشد می‌کند. صفت پارتنوکارپی که در آن گل بدون گرده‌افشانی تبدیل به میوه می‌شود، می‌تواند از حیث تولید میوه در شرایط نامساعد دمایی جهت گرده‌افشانی ارزشمند باشد. چراکه دمای بالاتر و پایین‌تر از حد بهینه رشد، سبب اختلال در گرده‌افشانی می‌شود (Honda *et al*., 2010). در گوجه‌فرنگی و بادمجان برخی ژن‌های مرتبط با پارتنوکارپی گزارش‌شده‌اند و در برنامه‌های اصلاحی مورداستفاده قرارگرفته‌اند (Kikuchi *et al*., 2008; Gorguet *et al*., 2005). در فلفل گزارشات مختلفی دال بر القای پارتنوکارپی در برخی از ارقام در اثر دمای پایین شب وجود دارد؛ اما اطلاعات کمی در مورداستفاده از ژن‌های پارتنوکارپ در اصلاح این گیاه گزارش‌شده است (Maki *et al*., 2023; Costantini *et al*., 2020).

دمای بهینه جهت پرورش فلفل بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد است و کاهش دما به زیر ۱۵ درجه سانتی‌گراد و یا افزایش آن به ۳۲ درجه سانتی‌گراد به‌ویژه در زمان گرده‌افشانی و شکل‌گیری اولیه میوه‌ها اثر بسیار منفی بر تولید میوه‌های خوش‌فرم (بلوکی شکل) در فلفل شیرین دارد (Saha *et al*., 2010). دمای بالا و پایین روز و شب در فاز زایشی گیاه فلفل شاخص باروری گیاه را از طریق تاثیر بر صفاتی نظیر تعداد گل، تعداد میوه، تشکیل میوه، عملکرد میوه تحت تاثیر قرار می‌دهد (Oh and Koh, 2019). از آنجایی که نمو گل تحت تاثیر دمای پایین شب، رشد و تولید میوه را تحت تاثیر قرار می‌دهد، بیشتر مطالعات روی تغییرات ساختار گل و تشکیل میوه متمرکز شده‌اند. به عنوان مثال، رشد گیاهان در دمای زیر ۱۵ درجه سانتی‌گراد منجر به شکل غیرنرمال گل، کاهش زنده‌مانی گرده، تولید میوه‌های پارتنوکارپ و کاهش تعداد بذر در میوه می‌شود (Rajametov *et al*., 2021). زنده‌مانی و جوانه‌زنی گرده در انواع فلفل در مرحله گلدهی به‌شدت تحت تأثیر دمای پایین شب (۱۵-۱۲ درجه سانتی‌گراد) قرارگرفته و نتیجه آن ریزش گل، میوه و یا تشکیل میوه‌های بدون بذر و پارتنوکارپ است. تحریک بوته به تولید میوه بدون بذر منجر به تولید میوه‌هایی با اندازه و وزن‌تر کمتری نسبت به میوه‌ای با بذر می‌شود.



شکل ۱- تأثیر دمای پایین شب و بالای روز بر بدشکلی میوه فلفل، a: بدفرمی میوه (knot) در دمای پایین شب b: تولید بال در محل اتصال میوه به دم میوه در دمای پایین شب c: ساختار کارپلوئیدی در میوه تشکیل‌شده در دمای پایین شب و بالای روز (مستخرج از پژوهش)

Figure 1- The effect of the low temperature at night and up at day on the deformity of the pepper fruit, a: fruit deformity (knot) at low temperature at night b: wing production at the junction of the fruit to fruit tail at the low temperature at night c: Carploid structure in the fruit formed at the low temperature at night and up at day (Extracted from research)

همچنین میوه‌های بدون بذر حداکثر اندازه و وزن را تا پایان مرحله سبز بودن به دست آورده اما در میوه‌های بذردار تا زمان رسیدگی کامل و رنگ گرفتگی اندازه و وزن میوه افزایش می‌یابد (Thanopoulos *et al.*, 2013). میوه‌های بدون بذر معمولاً کوچک‌تر از میوه‌های معمول بوده و بدفرمی میوه همراه باوجود ساختار کارپلوئیدی درون آن (شکل ۱) منجر به کاهش بازارپسند آن می‌گردد (Tiwari *et al.*, 2007). ساها و همکاران (Saha *et al.*, 2010) در ارزیابی دمای بالا (۲۹/۲۳ درجه سانتی‌گراد) بر ۱۲ ژنوتیپ فلفل شیرین گزارش نمودند که دمای بالا روز، منجر به افزایش ارتفاع و کاهش درصد تشکیل میوه، اندازه و وزن میوه می‌شود.

قابلیت تشکیل میوه به‌صورت پارتنوکارپ تحت شرایط فیزیولوژیکی در میان ارقام و هیبریدهای مختلف، متفاوت است. تیواری و همکاران (Tiwari *et al.*, 2007) دو ژنوتیپ با میوه بدون بذر و فرم بازارپسند در شرایط نرمال دمایی شناسایی نمودند. هرچند که استفاده از هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین‌ها، جیبرلین و سایتوکینین در القای پارتنوکارپی و تولید میوه بدون بذر به‌صورت مصنوعی رایج است (Huvelink and Korner, 2001) اما شناسایی ژنوتیپ‌هایی که به‌طور طبیعی میوه پارتنوکارپ و بازارپسند تولید کنند، جهت استفاده در برنامه‌های اصلاحی و تولید هیبریدهای بدون بذر با وزن و اندازه مناسب و بازارپسندی بالا حائز اهمیت است.

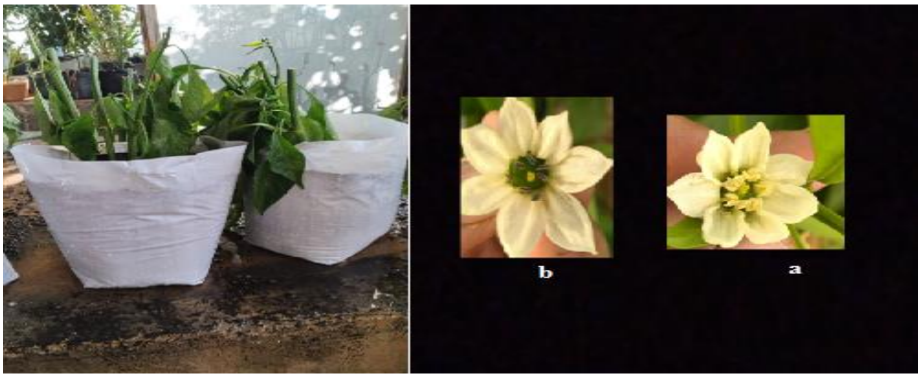
در ایران، پرورش فلفل شیرین در گلخانه، از پاییز تا اوایل تابستان انجام می‌گیرد و تشکیل میوه ممکن است تحت تأثیر منفی دمای پایین شب در طول زمستان و همچنین دمای بالا روز در اواخر بهار و اوایل تابستان قرار گیرد. در مطالعه حاضر، واکنش لاین‌های مربوط به سه جمعیت فلفل شیرین به دو عامل ذکرشده به‌طور جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفت تا پتانسیل آن‌ها برای تولید میوه پارتنوکارپ بافرم بازارپسند تعیین گردد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی واکنش لاین‌های مربوط به سه جمعیت فلفل شیرین تحت عنوان جمعیت A (میوه قرمز)، B (میوه نارنجی) و C (میوه زرد) حاصل از پنج نسل خودگشنی (با مدیریت نسل‌ها به روش بالک تک بذر) آزمایشی گلخانه‌ای بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه شرایط دمایی مختلف شامل دمای بهینه شب و روز (دمای روز ۲±۲۵ و دمای شب ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد)، دمای پایین شب (دمای روز ۲±۲۵ و دمای شب ۲±۱۱ درجه سانتی‌گراد) و دمای روز بالا (دمای روز ۲±۴۰ و دمای شب ۳±۲۰ درجه سانتی‌گراد) اجرا شد. برای این منظور ۱۰۰ لاین از هر یک از جمعیت‌ها در سه گلخانه مجزا با دماهای ذکرشده مورد کشت قرار گرفت. کشت در دو ایستگاه تحقیقاتی وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان واقع در جیرفت (N °28.6751 و E °57.7372) و اسفندقه (N °28.6455و E °57.1464) انجام شد. کشت در ایستگاه جیرفت در اوایل پاییز ۱۳۹۸ جهت اعمال دمای بهینه و اواخر پاییز ۱۳۹۹ جهت اعمال دمای پایین شب انجام شد. همچنین کشت در اواخر بهار ۱۳۹۹ در ایستگاه اسفندقه با آب و هوای معتدله جهت بررسی اثر دمای بالای روز صورت پذیرفت. تا قبل از شروع فاز زایشی، دما در هر سه گلخانه به‌صورت دمای بهینه اعمال شد و با شروع فاز زایشی، جهت تعدیل و اعمال دمای مورد نظر در کشت های پاییزه از سیستم گرمایشی و در فصل تابستان با تنظیم دریچه های تعبیه شده در اسکلت گلخانه استفاده شد. با توجه به‌اینکه در هر دو فصل پرورش فلفل در ایران، مرحله زایشی گیاه با دماهایی نامطلوب مواجه می شود و بیشترین تاثیر منفی روی تشکیل میوه و شکل آن رخ می‌دهد، لذا اعمال دماها از شروع فاز زایشی و منطبق با شرایط واقعی کشور انجام گرفت. کشت در گلخانه بافاصله ۴۰ سانتی‌متر بین بوته‌ها و ۷۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و هرس بوته‌ها به‌صورت حفظ دوشاخه صورت گرفت. متوسط رطوبت نسبی در کشت تابستانه و زمستانه به ترتیب ۴۰ و ۶۵ درصد و ساعات روشنایی در کشت تابستانه و زمستانه به ترتیب ۱۴ و ۱۱ ساعت بود.

درصد لاین‌های با میوه بدون بذر هر جمعیت یا میوه‌های پارتنوکارپ (شامل میوه‌های بدون بذری بود که حداقل ۵۰ درصد وزن میوه‌های بذر دار و طبیعی را دارا بودند و سایر میوه‌های بدون بذر که بدشکل بوده و اندازه کوچکی داشتند (Knot) به عنوان میوه بدفرم یادداشت شدند)، ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی و تعداد لوب میوه در ۱۰۰ لاین از هر جمعیت و در سه شرایط دمایی مختلف مورد سنجش و اندازه‌گیری قرار گرفت. با توجه به اینکه، لاین‌های درون هر جمعیت با لاین‌های جمعیت دیگر متفاوت بودند، لذا آنالیز داده‌ها به‌صورت طرح مختلط ترتیبی- فاکتوریل انجام شد. همچنین با توجه به اهمیت ویژگی‌های میوه در لاین‌های با میوه بدون بذر و میوه‌های بذردار، تجزیه واریانس این لاین‌ها بصورت طرح کاملاً تصادفی با ۱۵ تیمار در ۳ تکرار (جدول ۴) با استفاده از نرم‌افزار SAS v 9.2 انجام شد و مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام پذیرفت.

همچنین در پایان دوره رشد در هر فصل کشت، از لاین‌های با میوه بدون بذر در شرایط دمایی نامطلوب قلمه گرفته شد و پس از ریشه‌دار کردن در گلدان‌های با محیط پیت‌ماس به گلخانه با دمای بهینه منتقل شدند و پس از شروع فاز زایشی مجدداً تحت دمای نامطلوب شب و یا روز قرار گرفتند تا پایداری پارتنوکارپی در این بوته‌ها بررسی شود (شکل ۲).



شکل ۲- سمت راست: تفاوت گل تشکیل‌شده در میوه بذر دار (a) و بدون بذر (b) و سمت چپ: قلمه گیری از بوته‌های با میوه بدون بذر و ریشه‌دار کردن آن

Figure 2- Right: The difference between flowers formed in seeded fruit (a) and seedless (b) and left: Cuttings of plants with seedless fruit and rooting it

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، بین جمعیت های مختلف از نظر صفات مورد ارزیابی تفاوت معنی‌داری از نظر آماری وجود دارد. همچنین اثر دماهای مختلف و اثر متقابل جمعیت و دما نیز در صفات مختلف مورد ارزیابی معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج نشان داد که نوسانات دمایی شب و روز خارج از دامنه دمای بهینه، سبب تغییرات چشمگیری در رشد بوته، توسعه میوه و تشکیل بذر شد. در شرایط دمای بهینه، تمام لاین‌ها از رشد مطلوبی برخوردار بودند و هیچ بوته‌ی پارتنوکارپی در جمعیت‌های مورد ارزیابی مشاهده نشد. با کاهش دمای شب به ۲±۱۱ درجه سانتی‌گراد، به دلیل اختلال در گرده‌افشانی، هر سه جمعیت با درجات متفاوتی تحت تأثیر دمای پایین شب قرار گرفتند. در جمعیت A، ۴ درصد از بوته‌ها، میوه بدون بذر تولید کردند (جدول ۲). این در حالی است که درصد لاین‌های پارتنوکارپ در دمای روز بالا در این جمعیت بیشتر از دمای پایین شب بود. در دمای روز بالا نیز ۶ درصد از بوته‌های جمعیت A پارتنوکارپ بودند. درصد لاین‌های پارتنوکارپ جمعیت B و C نسبت به جمعیت A در دمای پایین شب و روز بالا (به ترتیب ۲ و ۱ درصد) به‌طورقابل توجهی کمتر بود که احتمالاً به دلیل تحمل بیشتر این دو جمعیت به نوسانات دمایی است. در جمعیت C تنها یک درصد بوته‌ها در هردو شرایط دمایی نامطلوب پارتنوکارپ بودند. اختلاف بین شدت تولید میوه‌های پارتنوکارپ می‌توانند ناشی از اختلاف ژنتیکی در میزان هورمون‌های درون‌ریز اکسین و یا جیبرلین در تخمدان باشد (Tiwari, 2011).

در دمای نامطلوب شب ۱۲ و ۹ و ۴ درصد از لاین‌های جمعیت A، B و C تنها میوه knot تولید کردند. با افزایش دمای روز به ۳±۴۰، درصد این لاین‌ها کاهش یافت و به ۱۰، ۵ و ۳ درصد به ترتیب در جمعیت‌های A، B و C رسید. عدم تولید میوه مطلوب در این لاین‌ها می‌تواند نشانه حساسیت شدید این بوته‌ها به دمای نامطلوب شب و روز باشد. دمای نامطلوب روز و شب برخی جنبه‌های فیزیولوژی گیاه و رشد آن را تحت تأثیر قرار داده که منجر به افت رشد، قدرت باروری گیاه و تولید بذر می‌گردد (Pagamas and Nawata, 2008). اریکسون و مارکارات (Erickson and Markhart, 2001) گزارش نمودند که تشکیل میوه و باروری گیاه و عملکرد میوه و تشکیل بذر در فلفل با افزایش دما روز کاهش می‌یابد. دمای پایین زیر ۱۵ درجه در شب با تاثیر بر مورفولوژی گل، منجر به تولید میوه‌هایی با شکل نامطلوب و یا تولید میوه‌هایی بدون بذر می‌گردد (Cruz-Huerta *et al*., 2011). همچنین عدم تولید بذر در میوه فلفل تحت دمای پایین شب می تواند ناشی از عدم تعادل بین هورمون‌های نظیر اکسین، جیبرلین و سایتوکنین بوده که به عدم تلقیح منجر شده است (Rajametov *et al*., 2021). لذا لازم است در مطالعات آینده این جنبه مورد مطالعه قرار گیرد.

جهت تعیین پایداری پارتنوکارپی در لاین‌های با میوه بدون بذر، از لاین‌های ذکرشده، قلمه تهیه شد و پس از ریشه‌دار شدن در محیط پیت‌ماس گلدان، در دو آزمایش جداگانه با شروع فاز زایشی تحت دمای پایین شب و دمای بالای روز قرار داده شدند. نتایج حاصل نشان داد که روند تشکیل میوه بدون بذر در این لاین‌ها مشابه آزمایشات گلخانه‌ای قبل بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر دماهای مختلف بر سه جمعیت فلفل شیرین

Table 1- Analysis of variance of the effect of different temperature on three populations of sweet peppers

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares								
		درصد پارتنوکارپی Percentage of parthenocarpy	درصد لاین های با میوه نات Percentage of lines with knotted fruit	ارتفاع بوته Plant height	روز از کاشت تا رسیدگی Day from planting until maturity	تعداد لوب Number of lobes	شاخص شکل میوه Fruit shape index	طول میوه Fruit length	قطر میوه Fruit diameter	وزن میوه Fruit weight
جمعیت Population	2	81.29 **	1.98 **	80.82 *	290.23 *	5.99 ns	2.09 ns	185.97 *	321.11 *	400.11 *
لاین‌های درون جمعیت Line/Population	297	16.76	0.28	18.07	80.21	5.09	1.09	54.11	80. 90	129.21
دما Temperature	2	25.90 **	0.46 **	30.21*	180.11**	7.98 **	0.13 *	65.29 *	87.05 *	210.32 **
دما× جمعیت Temperature× Population	4	18.45 **	0.25 **	27.76 *	151.90**	5.58 *	0.41 **	50.09*	79.34 **	170.11 **
دما× لاین‌های درون جمعیت Temperature× LinePpopulation	594	4.01	0.08	8.03	30.71	1.45	0.03	15.90	21.90	45.11
ضریب تغییرات C.V (%)	-	8.19	5.11	11.36	13.09	3.90	4.26	13.43	12.09	15.21

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: non-significant, significant at $p\leq0.05$ and $p\leq0.01$, respectively.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۲، با کاهش دمای شب ارتفاع بوته در هر سه جمعیت به‌شدت کاهش یافت، اما در گیاهان رشد یافته تحت تأثیر دمای روز بالا، ارتفاع گیاه نسبت به شرایط بهینه افزایش داشت. همچنین لاین‌های با میوه knot دارای میوه‌هایی نامطلوب و بدون بذر به دلیل عدم صرف انرژی برای رشد و توسعه میوه‌ها، انرژی حاصل از فتوسنتز را تنها به رشد رویشی اختصاص داده و این لاین‌ها دارای ارتفاع بیشتری نسبت به لاین‌های با میوه بذردار بودند. درنتیجه، این افزایش سبب افزایش میانگین ارتفاع در هر سه جمعیت تحت دمای روز بالا شد. این نتیجه برای جمعیت‌های رشد یافته در دمای شب پایین نیز صادق است. افزایش ارتفاع گیاه تحت دمای بالای روز و کاهش آن در دمای پایین شب توسط ساها و همکاران (Saha *et al*., 2010) نیز گزارش‌شده است. مطالعات قبلی نشان داد که دمای پایین شب منجر به کاهش رشد و ارتفاع بوته در گیاه فلفل شده است (Nilwik, 1981). این کاهش رشد منجر به کاهش تعداد برگ شده و از این طریق با کاهش جذب نور و کارایی پایین فتوسنتز، بر رشد میوه‌ها تاثیرگذار است. روز از کاشت تا رسیدگی نیز تحت تأثیر دمای شب و روز قرار گرفت. دمای پایین شب منجر به افزایش دوره رشد گیاه و دمای روز سبب کاهش روز تا برداشت میوه شد. با توجه به مقدار انرژی گرمایی موردنیاز جهت رسیدگی فیزیولوژیکی میوه، نتایج حاصل دور از انتظار نبود.

یکی از ویژگی‌های ظاهری فلفل شیرین که به‌شدت بر بازارپسندی آن تأثیرگذار است، تعداد لوب میوه می‌باشد. ارقام هیبرید و تجاری فلفل شیرین عموماً دارای چهار لوب بوده هرچند در برخی از انواع آن تعداد سه لوب نیز وجود دارد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد لوب بین سه جمعیت مورد ارزیابی وجود نداشته اما اثر دما و اثر متقابل جمعیت و دما بر این صفت به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). سه جمعیت موردبررسی در این پژوهش از انواع فلفل شیرین با چهار لوب بودند که در دمای بهینه نیز با همین تعداد لوب رشد کردند. با کاهش دمای شب میانگین تعداد لوب در سه جمعیت A، B و C به ترتیب به شش، پنج و پنج لوب افزایش و در دمای روز بالا در سه جمعیت به سه لوب کاهش یافت. بااین‌وجود علی و کلی (Ali and Kelly, 1993) افزایش تعداد لوب میوه را با تغییر دمای بهینه و افزایش دمای روز و کاهش دمای شب گزارش نمودند. دماهای پایین در شب با تاثیر بر شکل بساک و تخمدان باعث ناهنجاری هایی نظیر رشد برچه‌ها، کاهش فعالیت گرده و عدم لقاح مطلوب شده که نتیجه آن رشد غیر طبیعی میوه، تولید میوه هایی با شکل نامنظم است (Shaked et al., 2014).

براساس نتایج جدول ۱، طول و قطر میوه، وزن میوه و شاخص شکل میوه که از مهم‌ترین صفات تعیین‌کننده بازارپسندی میوه می‌باشند (Barboza *et al*., 2005)، تحت تأثیر معنی دار نوسانات دمایی شب و روز و همچنین اثر متقابل جمعیت و دما قرار گرفتند. با توجه به اهمیت این صفات و متفاوت بودن الگوی تغییر در میوه‌های بذردار و بدون بذر، این ویژگی‌ها در هر دودسته میوه تشکیل‌شده مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۳ و ۴). نتایج نشان داد که در هر سه جمعیت مورد ارزیابی طول میوه به‌طور معنی‌داری در دمای پایین شب بیش از دمای بالای روز تحت تأثیر منفی قرارگرفته که نتیجه آن برهم خوردن شاخص شکل میوه بود. شاخص شکل میوه که حاصل نسبت طول به قطر میوه بوده، در میوه‌های بازارپسند ۱/۰۲-۱ است (Naegele *et al*., 2016). با افزایش طول میوه و با ثابت ماندن یا کاهش قطر میوه، شاخص شکل از عدد ۱/۰۲ بیشتر شده و با بیشتر شدن قطر میوه همراه با کاهش طول میوه که معمولاً تحت شرایط تنش سرمایی حاصل می‌شود، این عدد به زیر یک کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج، سه جمعیت مورد ارزیابی در شرایط بهینه دمایی دارای طول میوه متفاوت بوده که با متناسب بودن قطر میوه به طول آن، شاخص شکل میوه در حد نرمال بود و میوه‌هایی بازارپسند را تولید کردند. با کاهش دمای شب به زیر دمای بهینه رشد، طول میوه در سه جمعیت مورد ارزیابی به‌شدت کاهش یافت و این کاهش در میوه‌های بدون بذر بیشتر بود. با توجه به جدول ۴، بیشترین درصد کاهش طول میوه در دمای پایین شب در جمعیت A و در میوه‌های بدون بذر مشاهده شد. به‌طوری‌که در این شرایط دمایی طول میوه ۴۳ درصد در میوه‌های بدون بذر و ۱۷/۵ درصد در میوه‌های بذر دار کاهش یافت. کمترین میزان کاهش طول میوه در دمای پایین شب مربوط به جمعیت C بود. طول میوه در میوه‌های بذردار و بدون بذر این جمعیت به ترتیب ۱۲ و ۲۴ درصد کاهش یافت. این در حالی است که درصد کاهش طول میوه در کل جمعیت‌های مورد ارزیابی به‌طور متوسط ۱۳/۹۰ و ۳۳/۶۹ درصد به ترتیب در میوه‌های بذر دار و بدون بذر بود. هرچند طول میوه در شرایط دمای بالای روز کمتر از دمای پایین شب تحت تأثیر منفی قرار گرفت، اما روند تغییرات طول میوه در این شرایط دمایی مشابه دمای پایین شب بود. متوسط کاهش طول میوه در کل جمعیت در میوه‌های بذردار و بدون بذر به ترتیب ۱۰/۴۱ و ۳۱/۵۲ درصد بوده که جمعیت C کمترین و جمعیت A بیشترین تأثیر را از دمای نامطلوب روز داشتند (جدول ۴).

جدول ۲- اثر متقابل جمعیت‌های فلفل شیرین × دما بر صفات مورد ارزیابی

Table 2- The interaction effects of sweet pepper populations × temperature on evaluated characteristics

جمعیت Population	درصد لاین های پارتنوکارپ Percentage of seedless fruit lines (Parthenocarp) (%)			درصد لاین‌های با میوه نات Percentage of lines with knotted fruit ج(%)			ارتفاع بوته Plant height (cm)			روز از کاشت تا رسیدگی Day from planting until Maturity (day)			تعداد لوب Number of lobes		
	دمای بهینه روز و شب Optimal temperature at day and night	دمای پایین در شب Low temperature at night	دمای بالا در روز High temperature at day	دمای بهینه روز و شب Optimal temperature at day and night	دمای پایین در شب Low temperature at night	دمای بالا در روز High temperature at day	دمای بهینه روز و شب Optimal temperature at day and night	دمای پایین در شب Low temperature at night	دمای بالا در روز High temperature at day	دمای بهینه روز و شب Optimal temperature at day and night	دمای پایین در شب Low temperature at night	دمای بالا در روز High temperature at day	دمای بهینه روز و شب Optimal temperature at day and night	دمای پایین در شب Low temperature at night	دمای بالا در روز High temperature at day
A	0 e	4 b	6 a	0 e	12 a	10 b	143.90 ab	70.65 d	150 a	110 c	136 b	90 de	4 c	6 a	3 d
B	0 e	2 c	2 c	0 e	9 b	5 c	140.27 b	85.63 c	145 a	113 c	150 a	108 cd	4 c	5 b	3 d
C	0 e	1 d	1 d	0 e	4 cd	3 d	145.67 a	100.10 b	149 a	110 c	135 b	95 d	4 c	5 b	3 d

میانگین‌های دارای حروف مشابه در مربوط به هر صفات، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Means with similar letters are not statistically different based on Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مرتبط با ویژگی میوه در لاین های درون سه جمعیت فلفل‌شیرین تحت دماهای مختلف

Table 3- ANOVA of the fruit related traits in lines within three populations of peppers under different temperatures

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares شاخص شکل میوه Fruit shape index	طول میوه Fruit length	قطر میوه Fruit diameter	وزن میوه Fruit weight
تیمار (لاین های درون جمعیت تحت دماهای مختلف) Treatment (line×population× temperature)	14	2.63 *	301.35 **	487.5**	780.54 **
خطای آزمایشی Experimental error	30	1.12	70.01	92.99	174.32
ضریب تغییرات C.V (%)	-	4.59	13.72	12.43	15.90

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and **: significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively

قطر میوه نیز همانند طول میوه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر منفی دمای نامطلوب شب و روز قرار گرفت (جدول ۴). هرچند قطر میوه نسبت به شرایط نرمال دمایی کاهش داشت اما در مقایسه با طول میوه این کاهش کمتر بود و همین امر سبب شد که شاخص شکل میوه به‌شدت تحت تأثیر قرار گیرد. متوسط درصد کاهش قطر میوه در کل جمعیت مورد ارزیابی در میوه‌های بذر دار و بدون بذر به ترتیب ۹/۶۱ و ۲۹/۸۷ درصد در دمای پایین شب و ۲۹/۷۱ و ۱۳/۷۸ درصد در دمای بالای روز بود. جمعیت A بیشترین و جمعیت C کمترین تأثیرپذیری را از دمای نامطلوب شب و روز داشتند. با مقایسه تغییرات طول و قطر میوه (جدول ۴) مشخص می‌گردد که افت شدید طول میوه، سبب برهم خوردن توازن طول و قطر شده و شاخص نامطلوب شکلی حاصل‌شده است که در دمای پایین شب بیشتر به چشم می‌خورد. درواقع بیشتر بودن قطر میوه به طول آن در دمای پایین شب سبب حصول کمترین شاخص‌های شکلی میوه در هر دودسته میوه بذردار و بدون بذر شد (به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۹۵). در دمای بالای روز متوسط شاخص شکل میوه ۱/۰۴ در میوه‌های بذردار و ۰/۹۷ در میوه‌های بدون بذر بود. دمای پایین شب (۱۰ درجه سانتی‌گراد) سبب کاهش طول و قطر میوه و تعداد بذر در میوه شده و منتج به تشکیل میوه های با شاخص شکل نامطلوب می‌گردد (Rajametov *et al.*, 2021).

تحت شرایط بهینه رشد، شکل میوه فلفل شیرین بلوکی و حاوی متوسط ۳۰۰-۱۵۰ بذر می‌باشد. شکل میوه در مراحل اولیه نمو گل تعیین می‌شود. میوه‌های کوچک و پهن و عموماً پارتنوکارپ تحت دمای پایین (۱۶ درجه سانتی‌گراد) حاصل می‌شوند که دلیل آن بزرگ شدن تخمدان (نهایتاً افزایش غیر نرمال قطر میوه) و افزایش فاصله بین کالاله و پرچم‌ها جهت دریافت گرده می‌باشد که منجر به کاهش کارایی گرده‌افشانی می‌شود. تولید میوه‌های بدون بذر در دماهای بالا و پایین روز و شب به دلیل اختلال در گرده‌افشانی، می‌تواند نشانه وجود پتانسیل ذاتی پارتنوکارپی در جمعیت‌های موردبررسی باشد. عدم گرده‌افشانی مناسب موجب بیان پارتنوکارپی و تبدیل هوموتیک تخمک‌های غیرطبیعی به کارپلوئید (برچه) می‌شود که نتیجه آن حصول میوه‌هایی است که قطر بیشتری نسبت به طول میوه دارند و حاوی ساختارهای کارپلوئیدی هستند (Tiwari, 2011). دمای نامطلوب در طول روز و شب منجر به کاهش طول و قطر میوه شده و از این طریق منجر به کاهش وزن میوه می‌شود. دمای پایین در طول فاز زایشی گیاه سبب کاهش طول خامه و عدم گرده افشانی مناسب می‌گردد و با تورم تخمدان، میوه‌های بدفرم و یا میوه‌هایی با قطر بیشتر نسبت به طول میوه شده و شاخص شکل میوه را در جهت نامطلوب تغییر می‌دهد (Ali and Kelly, 1993).

وزن میوه نیز تحت تأثیر دمای نامطلوب شب و روز قرار گرفت اما اثر منفی دمای پایین شب بر وزن میوه بیشتر از دمای نامطلوب روز بود. بر اساس نتایج (جدول ۴)، درصد کاهش وزن میوه در میوه‌های بذردار و بدون بذر در دمای پایین شب به ترتیب ۲۱/۱۹ و ۵۰/۰۶ درصد و در دمای بالای روز، ۱۵/۹۸ و ۵۰/۱۲ درصد بود. همان‌طور که از نتایج پیداست، میوه‌های بدون بذر تأثیر یکسانی از دمای نامطلوب شب و روز داشته و بیشترین درصد کاهش وزن را نشان دادند. همچنین وزن میوه در جمعیت C کمترین تأثیر را از دمای نامطلوب شب و روز نشان داد و تفاوت چندانی از این نظر بین دو جمعیت B و A مشاهده نشد. توی و کنجی (Thuy and Kenji, 2015) گزارش نمودند که دمای نامطلوب در دوره گرده‌افشانی فلفل شیرین سبب کاهش وزن میوه و تعداد بذر در میوه به میزان ۰/۵ و ۲/۸ برابر شرایط دمای بهینه شده و کاهش کیفیت میوه را به دنبال داشت. تحریک بوته به تولید میوه بدون بذر منجر به تولید میوه‌هایی با اندازه و وزن‌تر کمتری نسبت به میوه‌های بذردار می‌شود. چراکه میوه‌های بدون بذر حداکثر اندازه و وزن را تا پایان مرحله سبز بودن به دست آورده اما در میوه‌های بذردار تا زمان رسیدگی کامل و رنگ

گرفتگی اندازه و وزن میوه افزایش می‌یابد (Thanopoulos *et al.*, 2013). کاهش وزن میوه فلفل در اثر نوسانات دمایی شب و روز توسط سایر محقق نیز گزارش شده است (Bhutia *et al.*, 2018; Cruz-Huerta *et al.*, 2011).

جدول ۴- ویژگی‌های میوه لاین‌های بدون بذر و بذردار فلفل شیرین تحت تأثیر دمای بهینه رشد، دمای پایین در شب و دمای بالا در روز در فصول مختلف سال

Table 4- The fruit characteristics of seedless and seeded sweet pepper lines under the influence of different temperatures in the different seasons of the year

جمعیت Population	دما Temperature	نوع میوه Fruit type	طول میوه Fruit length (mm)	قطر میوه Fruit diameter (mm)	وزن میوه Fruit weight (g)	شاخص شکل میوه Fruit shape index
A	دمای بهینه روز و شب Optimal temperature at day and nigh	S	80^{b}	80^{b}	230.21^{ab}	1.00^{b}
		SL	-	–	–	–
	دمای پایین در شب Low temperature at night	S	66^{cd}	74b^{c}	180.09^{c}	0.89 ^{d}
		SL	45^{e}	48^{e}	108.01^{e}	0.92 ^{c}
	دمای بالا در روز High temperature at day	S	71^{c}	68^{c}	191.04^{b}c	1.03^{ab}
		SL	43^{e}	52^{d}	100.12^{ef}	0.82 ^{de}
B	دمای بهینه روز و شب Optimal temperature at day and nigh	S	90^{ab}	90^{ab}	242.02^{ab}	1.00 ^{b}
		SL	-	–	-	–
	دمای پایین در شب Low temperature at night	S	79^{bc}	79^{bc}	191.22^{bc}	0.99 ^{bc}
		SL	60^{d}	63^{c}	111.21^{e}	0.94 ^{c}
	دمای بالا در روز High temperature at day	S	81^{b}	75^{bc}	199.38^{b}	1.08^{a}
		SL	60^{d}	57^{d}	110.04^{e}	1.05^{a}
C	دمای بهینه روز و شب Optimal temperature at day and nigh	S	100^{a}	98^{a}	265.00 ^{a}	1.02^{ab}
		SL	-	–	-	–
	دمای پایین در شب Low temperature at night	S	88^{ab}	88^{ab}	210.35^{b}	1.00 ^{b}
		SL	76^{bc}	76b^{c}	151.43 ^{d}	0.99^{bc}
	دمای بالا در روز High temperature at day	S	90^{ab}	87^{ab}	230.30^{ab}	1.03 ^{ab}
		SL	85^{b}	80^{b}	152.93^{d}	1.06^{a}

S: میوه بذردار و SL: میوه بدون بذر (S: seeded fruit and SL: seedless fruit)

میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Means with similar letters are not statistically different based on Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

باوجود بیان بالای پارتنوکارپی در جمعیت A همراه با رشد بالای کارپلوئیدها، به نظر می‌رسد این بیان با صفات نامطلوبی همراه باشد که می‌تواند ناشی از پیوستگی صفات و یا اثرات پلیوتروپی ژن‌های پارتنوکارپی و یا تغییرات فیزیولوژیکی و یا مولکولی باشد. باوجودآنکه در جمعیت C تعداد لاین‌های دارای میوه پارتنوکارپ یک درصد بود، اما میوه‌های پارتنوکارپ تشکیل‌شده از اندازه و شاخص شکل مناسب‌تری نسبت به دو جمعیت دیگر برخوردار بود. همچنین جمعیت C درصد پایینی از میوه‌های Knot و همچنین تفاوت اندکی در وزن و شکل میوه‌ها را در دمای پایین شب و دمای بالای روز نشان داد. با توجه به نتایج حاصل، تفاوت درشدت بیان رشد میوه پارتنوکارپ به‌وضوح تنوع ژنتیکی جمعیت‌ها را نشان داد که ممکن است به دلیل تفاوت ژنوتیپی در اکسین درون‌زایی و یا جیبرلین در تخمدان‌ها یا جفت رخ دهد. ژنوتیپ‌های با پتانسیل بالا برای پارتنوکارپی می‌توانند حاوی سطوح بالاتری از هورمون‌ها در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها باشند (Tiwari, 2011).

نتیجه‌گیری

براساس نتایج بدست آمده، سه جمعیت مورد ارزیابی پتانسیل متفاوتی از نظر واکنش به دمای نامطلوب پایین در شب و دمای بالا در روز داشتند. به طوری‌که لاین‌های حساس‌تر تعداد بیشتری میوه نامطلوب تولید کرده و از شاخص شکل میوه مناسبی برخوردار نبودند. در مقابل لاین‌های متحمل‌تر به تغییرات دمایی، با تولید میوه‌های با شاخص شکل مطلوب تاثیرپذیری کمتری در مقابل نوسانات شدید دمایی نشان دادند. لاین‌های متحمل به نوسانات دمایی و همچنین لاین‌های پارتنوکارپ شناسایی شده را می‌توان در برنامه‌های اصلاحی آینده در تولید بذر هیبرید فلفل شیرین مورد استفاده قرار داد.

منابع

1. Ali, A.M., & Kelly, W.C. (1993). Effect of pre-anthesis temperature on the size and the shape of sweet pepper (*Capsicum* spp.) fruit. *Scientia Horticulturae* 54: 97-105. http://doi.org/10.1016/0304-4238(93)90058-X.
2. Barboza, G.E., Bianchetti, D.B., & Lammers, T.G. (2005). Three new species of Capsicum (Solanaceae) and a key to the wild species from Brazil. *Systematic Botany 30*(4): 863-871. http://doi.org/10.1600/036364405775097905.
3. Bhutia, K., Khanna, V., Meetei, T., & Bhutia, N. (2018). Effects of climate change on growth and development of chilli. *Agrotechnology* 7: 2. http://doi.org/10.4172/2168-9881.1000180.
4. Cruz-Huerta, N., Williamson, J.G., & Darnell, R.L. (2011). Low night temperature increases ovary size in sweet pepper cultivars. *HortScience* 46: 396–401. http://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.3.396.
5. Erickson, A.N., & Markhart, A.H. (2001). Flower production, fruit set and physiology of sweet pepper during elevated temperature and vapor pressure deficit. *Journal of the American Society for Horticultural Science 126*(6): 697-702. http://doi.org/10.21273/JASHS.126.6.697.
6. Gorguet, B., Heusden, AW., & Lindhout, P. (2005). Parthenocarpic fruit development in tomato. *Plant Biology 7*(2): 131-139. http://doi.org/10.1055/s-2005-837494.
7. Heuvelink, E., & Korner, O. (2001). Parthenocarpic fruit growth reduces yield fluctuation and blossom-end rot in sweet pepper. *Annales Botanici* 88: 69-74. http://doi.org/10.1006/anbo.2001.1427.
8. Honda, I., Matsunaga, H., Kikuchi, K., Matsuo, S., & Fukuda M. (2012). Identification of pepper (*Capsicum annuum* L.) accessions with large or small fruit that have a high degree of parthenocarpy. *Scientia Horticulturae* 135: 68-70. http://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.12.014.
9. Kikuch, K., Honda, I., Matsuo, S., Fukuda, M., & Saito T. (2008). Stability of fruit set of newly selected parthenocarpis eggplant accessions. *Scientia Horticulturae* 115: 111-116. http://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.08.001.
10. Naegele, R.P., Mitchell, J., & Hausbeck, M.K. (2016). Genetic diversity, population structure, and heritability of fruit traits in Capsicum annuum. *PLoS ONE 11*(7): 1-17. http://doi.org/10.1371/journal.pone.0156969.
11. Nilwik, H. (1981). Growth analysis of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) 1. The influence of irradiance and temperature under glasshouse conditions in winter. *Annals of Botany* 48: 129–136. http://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a086106.
12. Oh, S.Y., & Koh, S.C. (2019). Fruit development and quality of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) under various temperature regimes. *Horticultural Science and Technology* 37: 313-321.
13. Pagamas, P., & Nawata, E. (2008). Sensitive stages of fruit and seed development of chili pepper (*Capsicum annuum* L. var. Shishito) expose to high temperature stress. *Scientia Horticulturae 117*(1): 21-5. http://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.03.017.
14. Perry, L., Dickau, R., Zarrillo, S., Holst, I., Pearsall, D.M., Piperno, D.R., Berman, M.J., Cooke, R.G., Rademaker, K., & Ranere, A.J. (2007). Starch fossils and the domestication and dispersal of chili peppers (*Capsicum* spp.) in the Americas. *Science* 315: 986-988. http://doi.org/10.1126/science.1136914.

15. Rajametov, S.N., Lee, K., Jeong, H.B., Cho, M.C., Nam, C.W., & Yang, E.Y. (2021). The effect of night low temperature on agronomical traits of thirty-nine pepper accessions (*Capsicum annuum* L.). *Agronomy 11*(10): 1986. http://doi.org/10.3390/agronomy11101986.
16. Saha, S.R., Hossain, M.M., Rahman, M.M., Kuo, C.G., & Abdullah, S. (2010). Effect of high temperature stress on the performance of twelve sweet pepper genotypes. *Bangladesh Journal of Agricultural Research 35*(3): 525-534. http://doi.org/10.3329/bjar.v35i3.6459.
17. Shaked, R., Rosenfeld, K., & Pressman, E. (2004). The effect of low night temperatures on carbohydrates metabolism in developing pollen grains of pepper in relation to their number and functioning. *Scientia Horticulturae* 102: 29–36. http://doi.org/10.1016/j.scienta. 2003.12.007.
18. Thanopoulos, C.H., Bouranis, D., & Passam, H.C. (2013). Comparative development, maturation and ripening of seedless and seed-containing sweet pepper fruits. *Scientia Horticulturae* 164: 573-577. http://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.10.010.
19. Thuy, T.L., & Kenji, M. (2015). Effect of high temperature on fruit productivity and seed-set of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in the field condition. *Journal of Agricultural Science and Technology A and B and Hue University Journal of Science* 5: 515-520. http://doi.org/10.17265/2161-6256/2015.12.010.
20. Tiwari, A. (2011). *Parthenocarpic fruit development in Capsicum annuum*. Ph.D. Thesis. Wageningen University, Wageningen, the Netherlands. 2011 With references, summaries in English and Dutch. ISBN: 978-90-8585-871-3.
21. Tiwari, A., Dassen, H., & Heuvelink, E. (2007). Selection of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes for parthenocarpic fruit growth. *Acta Horticulturae* 761: 135-140. http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.761.16.
22. Wahyuni ,Y. (2014). *Breeding for pepper fruit quality. A genetical metabolomics approach*. Ph.D. Thesis. Wageningen University. 193 pages.
23. Costantini, L., Moreno-Sanz, P., Nmafor, C., Lorenzi, S., & Grando, M.S. (2020). Mechanisms and Candidate Genes for Seed and Fruit Set in Grapevine. http://doi.org/10.21203/rs.3.rs-72371/v1.
24. Maki, T., Kusaka, H., Matsumoto, Y., & Tanaka, Y. (2023). Theoretical and Applied Genetics *136*(4). http://doi.org/10.1007/s00122-023-04342-w.